

Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin

Ryanuargo¹, Syaiful Anwar², dan Sri Poernomo Sari³

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Tekonologi Industri, Universitas Gunadarma

^{2,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma

Jalan TB Simatupang Kav. 38, Jakarta 12540

e-mail: ryan.aggio@yahoo.com

Abstrak—Dalam kehidupan sehari-hari sering ditemukan sistem pendingin ruangan terpusat (*AC Central*) pada gedung perkantoran dan pusat perbelanjaan. *AC central* melepaskan panas yang terkandung dalam *refrigerant* ke udara dengan bantuan kipas (*motor fan*). Untuk melepaskan panas lebih cepat, pipa kondensor berliku dirancang dan dilengkapi dengan sirip. Panas yang dilepaskan dari kondensor dibuang ke udara. Hal ini dapat menyebabkan pemanasan global jika sistem pendingin ruangan terpusat digunakan dalam jumlah besar. Di sisi lain, teknologi termoelektrik yang mengubah energi panas langsung menjadi energi listrik merupakan salah satu sumber energi alternatif utama. Berdasarkan hal itu, pada makalah ini dirancang suatu sistem (pembangkit) listrik sederhana dengan memanfaatkan energi limbah panas dari kondensor dengan metode termoelektrik. Berdasarkan hasil percobaan, dengan suhu rata-rata 34°C, dihasilkan tegangan 3.14 Volt dan daya sebesar 0.16 Watt.

Kata kunci: *energi alternatif, energi tidak terpakai, termoelektrik*

Abstract—In daily life, it is often found that office buildings and shopping centers use air conditioning system (*AC Central*) for room cooling. The refrigerant in the cooling system releases the heat into the air with the help of the motor fan. In order to release the heat faster, the condenser pipe winding is designed and equipped with fins. The heat released from the condenser will be discharged to the air. This will lead to global warming if large numbers of air conditioning system are used. In this case, thermoelectric technology is a main alternative solution that can be implemented. Thermoelectric converts heat energy directly into electrical energy. Therefore, in this paper, we design a simple power system by utilizing waste heat energy from a condenser based on thermoelectric method. Based on the result of the experiment, an average temperature of 34°C results in voltage of 3.14 Volts and power of 0.16 Watts.

Keywords: *alternative energy, waste energy, thermoelectric*

I. PENDAHULUAN

Salah satu kendala yang dihadapi Indonesia dewasa ini adalah ketidakseimbangan antara kebutuhan konsumsi listrik pelanggan dibandingkan dengan kemampuan PLN dalam menyediakan energi listrik. Begitu juga tentang isu makin menipisnya cadangan minyak. Sebagaimana diketahui bahwa bahan bakar untuk memproduksi sumber energi listrik berasal dari sumber energi fosil seperti batu bara dan bahan bakar minyak lain. Sumber energi fosil sendiri sewaktu-waktu bisa habis jika dilakukan pemakaian terus menerus. Untuk mengatasi hal tersebut maka PLN melakukan penghematan energi listrik kepada konsumen dengan mencari sumber energi alternatif untuk meningkatkan efisiensi sumber energi yang ada.

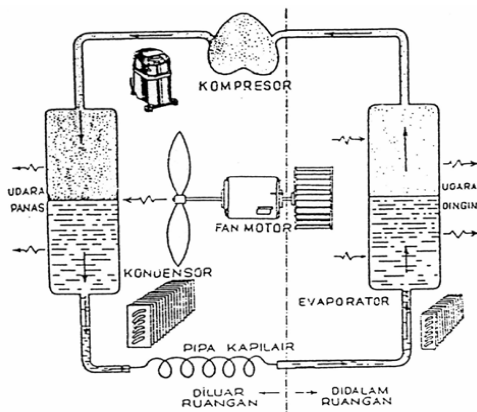
Dalam kehidupan sehari-hari sering dijumpai sistem pendingin ruangan terpusat pada gedung perkantoran dan pusat perbelanjaan. Dalam sistem pendingin, kondensor berfungsi sebagai alat penukar kalor, menurunkan suhu *refrigerant*, dan mengubah wujud *refrigerant* dari bentuk gas menjadi cair. Kondensor AC biasanya menggunakan udara sebagai media pendingin. Sejumlah kalor yang

terdapat pada *refrigerant* dilepaskan ke udara bebas dengan bantuan kipas (*motor fan*). Agar pelepasan kalor lebih cepat, pipa kondensor didesain berliku dan dilengkapi dengan sirip. Kalor atau panas yang dilepaskan dari kondensor akan dibuang udara. Hal ini akan menimbulkan pemanasan global apabila sistem pendingin terpusat dipakai dalam jumlah yang banyak. Pembangkit termoelektrik merupakan modul yang dapat menghasilkan listrik dengan memanfaatkan sumber energi panas. Pembangkit termoelektrik ini sangat ramah lingkungan karena tidak menimbulkan polusi. Makalah ini bertujuan untuk memaparkan pemanfaatan sumber energi panas dari kerja kondensor pada sistem pendingin sebagai sumber energi listrik dengan terlebih dahulu mengubah panas menjadi listrik berdasarkan prinsip termoelektrik.

II. LATAR BELAKANG

A. Mesin Pendingin Ruangan (*AC*)

Mesin pendingin adalah suatu rangkaian yang mampu bekerja untuk menghasilkan suhu dingin. Mesin pendingin



Gambar 1. Skema kerja mesin pendingin (AC) [1]

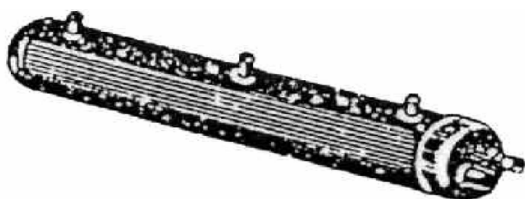
dapat berupa kulkas, *freezer* atau *air-conditioner* (AC). AC berfungsi sebagai pendingin suhu udara dalam ruangan. Prinsip kerja mesin pendingin adalah proses “penguapan”. Untuk mendapatkan penguapan diperlukan gas (udara) yang mencapai panas dengan suhu tertentu. Setelah udara tersebut panas dirubah agar kehilangan panas, sehingga terjadi penguapan. Disaat terjadinya penguapan, maka timbul suhu rendah (dingin). Proses ini ditunjukkan pada Gambar 1.

B. Kondensor dan Cara Kerjanya

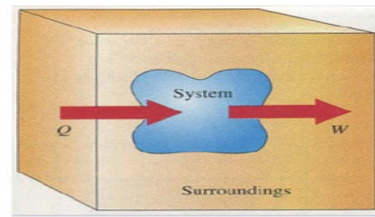
Di dalam sistem kompresi uap (*vapor compression*) kondensor adalah suatu komponen yang berfungsi untuk mengubah fase *refrigerant* dari uap bertekanan tinggi menjadi cairan bertekanan tinggi atau dengan kata lain pada kondensor ini terjadi proses kondensasi. *Refrigerant* yang telah berubah menjadi cair tersebut kemudian dialirkan ke *evaporator* melalui pompa. Prinsip kerja ini digambarkan pada Gambar 2 [2].

Prinsip kondensasi adalah menjaga tekanan uap *superheat refrigerant* yang masuk ke kondensor pada tekanan tertentu. Suhu *refrigerant*-nya diturunkan dengan membuang sebagian kalornya ke medium pendingin yang digunakan di kondensor. Sebagai medium pendingin digunakan udara dan air atau gabungan keduanya. Dalam perancangan ini akan digunakan air sebagai media pendingin.

Uap panas masuk ke kondensor dengan suhu yang tinggi dan bertekanan yang merupakan keluaran dari turbin. Kemudian uap panas masuk ke dalam *Suction Pipe* dan kemudian mengalir dalam *tube*. Dalam *tube*, uap panas didinginkan dengan media pendingin air yang dialirkan melewati sisi luar *tube*, kemudian keluar melalui *Discharge Pipe* dengan suhu yang sudah turun. Pada



Gambar 2. Kondensor [1]



Gambar 3. Konsep Termodinamika [2]

proses pendinginan cairan *refrigerant* yang menguap di dalam pipa-pipa *cooling coil* (*evaporator*) telah menyerap panas sehingga berubah wujudnya menjadi gas dingin dengan kondisi *superheat* pada saat meninggalkan *cooling coil*. Panas yang telah diserap oleh *refrigerant* ini harus dibuang atau dipindahkan ke suatu medium lain sebelum ia dapat kembali dirubah wujudnya menjadi cair untuk dapat mengulang siklusnya kembali.

C. Termodinamika

Ilmu termodinamika adalah ilmu yang mempelajari hubungan panas dengan kerja, seperti diilustrasikan pada Gambar 3. Dua besaran tersebut adalah sangat penting untuk dipahami karakteristiknya untuk pemahaman dasar keteknikan. Termodinamika penting untuk menganalisis kondisi operasi berbagai alat atau mesin yang berhubungan dengan panas dan kerja.

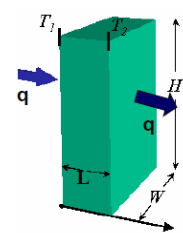
D. Perpindahan Panas

Perpindahan panas dari suatu zat ke zat lain seringkali terjadi dalam industri proses. Pada kebanyakan pengerjaan, diperlukan pemasukan atau pengeluaran panas untuk mencapai dan mempertahankan keadaan yang dibutuhkan sewaktu proses berlangsung. Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai perpindahan energi akibat adanya perbedaan temperatur pada suatu permukaan dengan lingkungan sekitarnya. Perpindahan panas terjadi dengan tiga (3) cara, yaitu: konduksi, konveksi, dan radiasi [3].

1. Perpindahan panas konduksi

Konduksi merupakan proses perpindahan panas yang terjadi pada media padat tak tembus cahaya, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4. Laju perpindahan panas konduksi per satuan luas permukaan perpindahan panas berbanding lurus dengan gradien suhu normal, atau dalam bahasa matematik dapat ditulis sebagai:

$$\frac{q_{cond}}{A_{cond}} \approx \frac{\partial T}{\partial X}, \quad (1)$$



Gambar 4. Proses perpindahan panas konduksi

jika dimasukkan konstanta proporsionalitas atau tetapan kesebandingan, diperoleh:

$$q_{cond} = -k \cdot A_{cond} \cdot \frac{\partial T}{\partial X}, \quad (2)$$

dimana $\frac{\partial T}{\partial X}$ adalah gradien suhu ke arah perpindahan panas antara dua tempat, dan k adalah konduktivitas thermal zat.

2. Perpindahan panas konveksi

Ilustrasi perpindahan panas konveksi diberikan pada Gambar 5. Pelat logam panas (bersuhu tinggi) akan mendingin lebih cepat bila ditaruh di dalam udara yang mengalir dibandingkan bila ditempatkan di udara tenang. Kita katakan bahwa panas dikonveksikan ke udara sekitar dan proses ini dinamakan perpindahan panas secara konveksi. Contoh gerakan makroskopis dalam fluida, partikel fluida dalam gerakannya memberikan panas yang dibawa. Laju perpindahan panas didefinisikan sebagai:

$$q = h \cdot A(T_d - T_f), \quad (3)$$

dimana h adalah koefisien proses konveksi ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$), A adalah luas permukaan perpindahan panas (m^2), T_d adalah suhu dingin ($^\circ\text{C}$) dan T_f adalah suhu fluida ($^\circ\text{C}$).

3. Perpindahan panas radiasi

Perpindahan panas dari benda dengan suhu tinggi ke benda dengan suhu lebih rendah bila benda dipisahkan dalam ruang (bisa ruang hampa) berkat fenomena analogi pancaran sinar dan gelombang elektromagnetik (radiasi matahari).

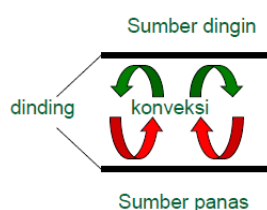
Hukum Stefan-Boltzmann (untuk benda hitam) adalah hukum dasar untuk perpindahan radiasi, didefinisikan seperti Persamaan (4),

$$q = \sigma AT^4 \quad (4)$$

dimana σ adalah konstanta Stefan-Boltzmann, 5.67×10^{-8} ($\text{W/m}^2 \text{ K}^4$), luas permukaan dinyatakan dengan A (m^2), dan suhu permukaan T (K).

Proses pertukaran radiasi *netto* antara dua permukaan berbanding lurus dengan perbedaan suhu absolut pangkat empat dan faktor pandang antara dua permukaan dan emisivitas masing-masing permukaan, artinya:

$$\frac{q_{\text{pertukaran netto}}}{A_{\text{rad}}} \approx F \cdot \epsilon \cdot \sigma_0 \cdot (T_{14} - T_{24}) \quad (5)$$



Gambar 5. Proses perpindahan panas konveksi

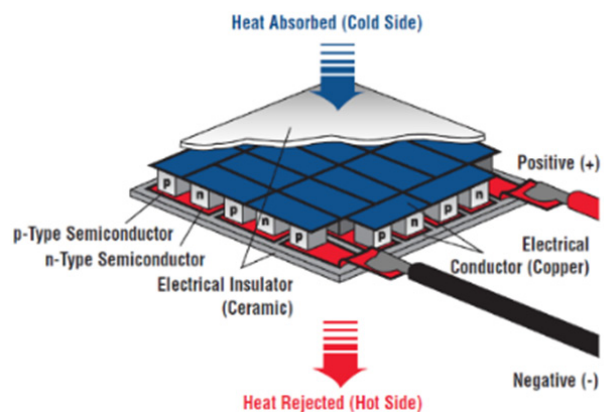
dimana F adalah faktor pandang atau faktor bentuk interaksi antara dua permukaan yang saling bertukar energinya, ϵ adalah emisivitas permukaan, σ_0 adalah konstanta Stefan-Boltzman ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$).

E. Termoelektrik

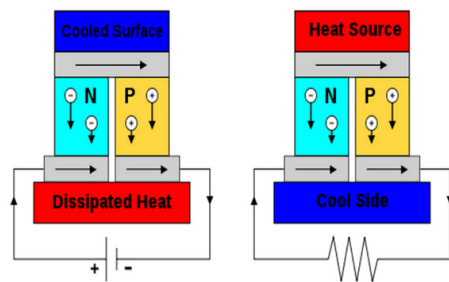
Generator termoelektrik adalah sebuah alat yang dapat digunakan sebagai pembangkit tegangan listrik dengan memanfaatkan konduktivitas atau daya hantar panas dari sebuah lempeng logam. Termoelektrik merupakan konversi langsung dari energi panas menjadi energi listrik. Termoelektrik didasarkan pada sebuah efek yang disebut efek Seebeck, yang pertama kali ditemukan pada tahun 1821 oleh Thomas Johann Seebeck. Prinsip kerja dari efek Seebeck yang bekerja pada pembangkit termoelektrik adalah jika ada dua buah material atau lempeng logam yang tersambung berada pada lingkungan dengan suhu yang berbeda maka di dalam material atau lempeng logam tersebut akan mengalir arus listrik. Teknologi termoelektrik relatif lebih ramah lingkungan, tahan lama dan bisa digunakan dalam skala yang besar [4].

Termoelektrik itu sendiri umumnya menggunakan bahan yang bersifat semikonduktor atau dengan kata lain menggunakan *solid-state technology*. Adapun struktur dari termoelektrik dapat dilihat pada Gambar 6. Pada Gambar tersebut ditunjukkan struktur termoelektrik yang terdiri dari suatu susunan elemen tipe-P, yakni material yang kekurangan elektron, dan terdiri juga dari susunan elemen tipe-N, yakni material yang kelebihan elektron. Panas masuk pada salah satu sisi dan dibuang dari sisi lainnya. Transfer panas tersebut menghasilkan suatu tegangan yang melewati sambungan termoelektrik dan besarnya tegangan listrik yang dihasilkan sebanding dengan gradien suhu.

Dapat disimpulkan apabila batang logam dipanaskan dan didinginkan pada 2 buah kutub logam, elektron pada sisi panas logam akan bergerak aktif dan memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi dingin logam. Dengan kecepatan yang lebih tinggi, maka elektron dari sisi panas akan mengalami difusi ke sisi dingin dan menyebabkan timbulnya medan listrik pada logam atau material tersebut. Elemen termoelektrik yang terdiri dari semikonduktor tipe-P dan tipe-N yang



Gambar 6. Struktur termoelektrik



Gambar 7. Proses termoelektrik mengubah energi panas menjadi listrik

dihubungkan dalam sebuah rangkain tertutup yang terdapat pada beban. Maka perbedaan suhu yang ada pada tiap *junction* dan tiap semikonduktor tersebut akan menyebabkan perpindahan elektron dari sisi panas menuju sisi dingin [5]. Proses ini diilustrasikan pada Gambar 7.

Dengan adanya perbedaan suhu pada kedua titik *junction* maka akan ada beda potensial di antara kedua titik tersebut, yang dapat ditentukan dengan,

$$\Delta V = \int_{T_1}^{T_2} S_{AB} dT \quad (6)$$

dimana S_{AB} adalah koefisien Seebeck dengan $T_1 < T_2$ [6].

Umumnya, ada beberapa material atau bahan dari generator termoelektrik yang sudah diproduksi antara lain *silicon germanium*, *lead telluride* dan *bismuth telluride*. Ketiga bahan ini diklasifikasikan menurut suhu kerjanya. Bahan silikon germanium memiliki suhu kerja yang paling tinggi diantara bahan generator termoelektrik lainnya. Material ini bisa menyerap panas dalam suhu 750°C sampai dengan 1000°C *rotor*. Bahan ini dapat menyerap beda potensial yang paling tinggi dari material termoelektrik yang lainnya.

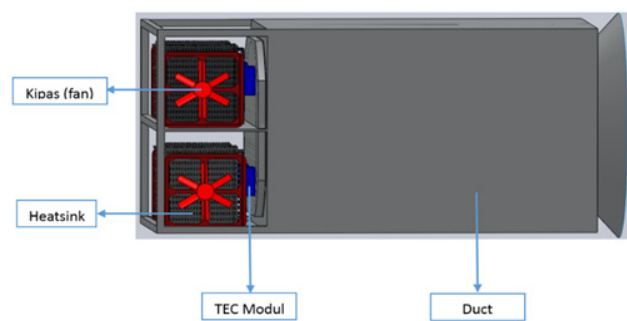
Adapun material *lead telluride* merupakan material generator termoelektrik yang bekerja pada suhu menengah. Pada material ini suhu kerja rentang antara 400° C sampai dengan 650°C.

Namun pada umumnya bahan generator termoelektrik yang digunakan adalah material jenis *bismuth telluride*. Material ini bekerja pada suhu rendah dengan rentang suhu kerja hingga 350°C. Material ini umumnya dipakai untuk elemen pendingin pada aplikasi pendingin, atau kombinasi pendingin dan pemanasan dengan adanya perbedaan suhu yang mengakibatkan timbulnya energi listrik [6].

F. Saluran Udara (Duct)

Saluran udara (*duct*) berfungsi untuk mengisolasi kerja fluida dari lingkungan, maka dari itu saluran udara harus bebas bocor, dapat juga menjaga perbedaan tekanan disepanjang dindingnya, dan dapat memindahkan kalor dari dan ke fluida kerja.

Gambar 8 menunjukkan ilustrasi salah satu contoh saluran udara. Biasanya berbentuk logam *tube*, yang terbuat dari tembaga atau alumunium. Material pada *duct* memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi, bentuk *tube* dapat ditekuk, dipipihkan atau diratakan. Pemilihan



Gambar 8. Saluran udara (Duct)

material dari saluran udara tergantung dari banyak faktor, yaitu: (1) komabilitas dengan fluida kerja serta lingkungan luar, (2) rasio kekuatan dengan massa material, (3) konduktivitas termal, (4) kemudahan fabrikasi, seperti kemudahan untuk *welding*, *machineability*, dan *ductility*, (5) porositas dan (6) *wettability* (kemampuan bekerja dalam kondisi basah).

Material saluran udara harus bersifat *non-porous* untuk mencegah difusi pada uap. Konduktivitas termal yang baik memastikan penurunan suhu yang minimal diantara sumber panas dengan sumbu [6].

III. METODE

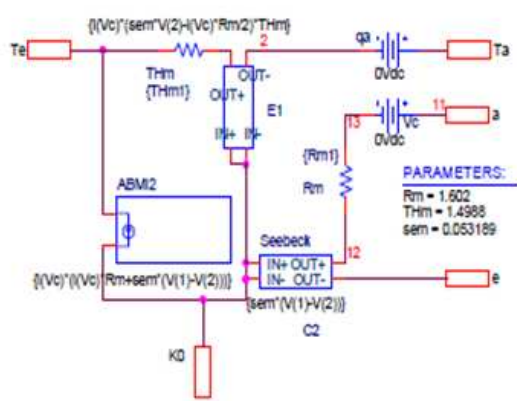
Panas keluaran dari kondensor AC disalurkan melalui sebuah saluran udara (*duct*) yang telah terisolasi. Saluran ini terbuat dari sebuah penghantar panas yang baik dan dilapisi oleh sebuah isolator agar panas yang ada dalam saluran tersebut terjaga dengan baik dan tidak ada rugi-rugi yang terjadi.

Selanjutnya panas yang ada dalam saluran tersebut masuk ke dalam sebuah modul termoelektrik (*Thermoelectric Module-TEM*) yang sudah ditentukan bahannya. Aliran udara panas hasil kondensor akan mempengaruhi suhu bahan konduktor secara konveksi. Setelah itu generator termoelektrik menerima panas secara konduksi dari konduktor yang sudah dirancang. Sebelum itu, sisi dingin dari termoelektrik dipasangkan heatsink agar suhu tetap dingin. Lalu output tegangan listrik pada termoelektrik diukur dengan multimeter.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan panas sisa buang dari sebuah kondensor AC menghasilkan listrik yang tergantung dari seberapa besar input panas yang masuk ke dalam termoelektrik Sesuai dengan bahan termoelektrik yang digunakan, jika input panas yang masuk ke dalam sistem termoelektrik besar berkisar 750°C sampai dengan 1000°C maka bahan yang digunakan sebagai modul termoelektriknya adalah *silicon germanium*.

Secara umum sistem yang dibuat dalam penelitian ini adalah dapat dilihat dalam Gambar 8. Dalam gambar tersebut bisa kita analisis, panas keluaran dari kondensor AC disalurkan melalui sebuah saluran udara (*duct*) yang mana saluran ini terbuat dari sebuah penghantar panas



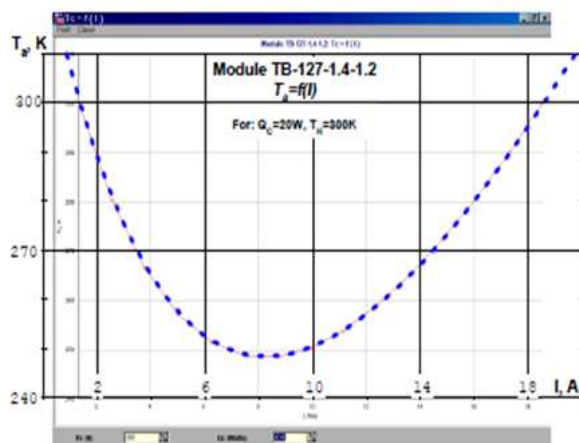
Gambar 9. Model PSPICE TEM TB-127-1.2-1.4

yang baik dan dilapisi oleh sebuah isolator agar panas yang ada dalam saluran tersebut terjaga dengan baik dan tidak ada rugi-rugi yang terjadi. Selanjutnya panas yang ada dalam saluran tersebut masuk ke dalam sebuah modul termoelektrik, *Thermoelectric Module* (TEM) yang dapat digambarkan seperti Gambar 9, namun ada beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam penyusunan dan pemberian muatan pada masing-masing komponen yang ada. TEM TB-127-1.4-1.2 (*Kryotherm*) memiliki dimensi 40x40 mm². Modul ini disisipkan antara dua pelat aluminium besar (40x40x5 mm³) dengan termokopel diterapkan untuk pengukuran suhu. Kedua piring termal terisolasi dari udara ambien. TEM ini pertama kali digunakan sebagai pendingin dan tegangan DC diterapkan untuk itu. Bila perbedaan suhu antara pelat mencapai nilai yang telah ditentukan, tegangan suplai dimatikan. Dari titik itu, TEM melanjutkan operasinya sebagai generator dan tegangan keluaran U diukur untuk beban yang berbeda.

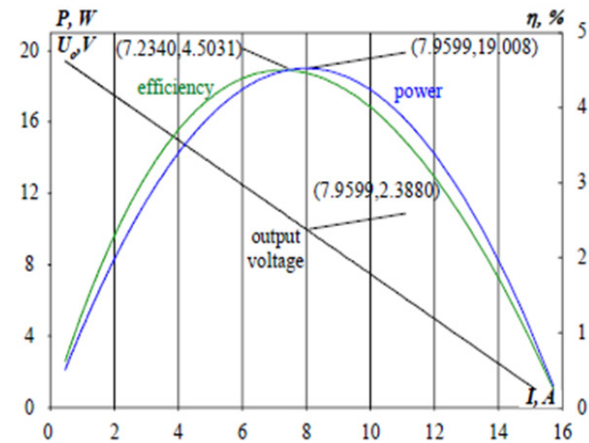
Untuk mensimulasikan kondisi eksperimental dengan model yang diusulkan, ada empat besaran yang harus dihitung, yaitu:

1. Parameter dari model.
2. Kapasitas panas dari pelat aluminium.

Hal ini dapat dihitung dengan:



Gambar 10. Kinerja TEM TB-127-1.4-1.2. Garis putus-putus adalah hasil simulasi diperoleh model yang diusulkan, garis utuh adalah kinerja plot yang diterbitkan oleh produsen



Gambar 11. Simulasi DC-sapuan kinerja generator termoelektrik HZ-20 yang dibuat oleh Hi-Z Technology, Inc

$$C_{al} = c\rho V, \quad (7)$$

dalam kasus khusus ini, C_{al} adalah sekitar 19 J/K [7].

3. Isolasi termal

Meskipun sistem termal terisolasi, kebocoran panas kecil masih ada. Nilai yang tahan panas dapat dihitung dari pengukuran *steady state* ketika menerapkan daya input rendah. Dalam kondisi mapan (dalam kasus kami setelah sekitar lima jam), yang R_{iso} tahan panas dapat dihitung dari T_h , T_c dan T_{room} dengan persamaan,

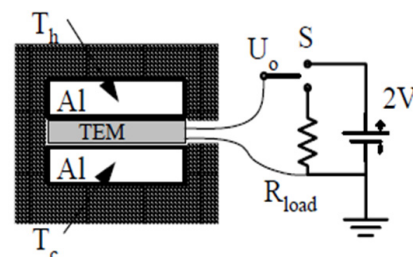
$$R_{iso} = \frac{\alpha_m^2 \Theta_m^2 (T_c + T_h + 2.273)^2 (T_c - T_{room})}{(T_c - T_h)^2 (2R_m + \alpha_m^2 \Theta_m^2) (T_c + T_h + 2.273)}. \quad (8)$$

4. Hambatan termal kontak antara TEM dan piring

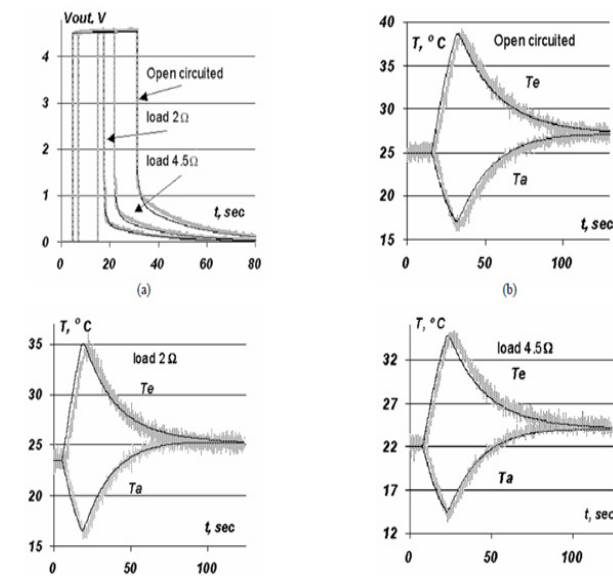
Hambatan termal kontak antara Tem dan piring dapat diperkirakan dari lembar data bahan antarmuka termal. Gambar 13 menunjukkan hasil simulasi keluaran dari termoelektrik modul dengan bantuan *software* PSPICE.

Jika modul termoelektrik ini digabungkan dengan sebuah rangkaian untuk menghasilkan energi listrik, maka untuk mensimulasikan berapa daya atau keluaran yang dihasilkan dalam sebuah modul termoelektrik dapat dianalisis seperti pada Gambar 14 dengan menggunakan *software* PSPICE untuk melihat keluaran tegangannya. Pada simulasi ini juga digunakan plat aluminium sebagai parameter yang digunakan sebagai kapasitas termal dari plat aluminium tersebut [7].

Dapat diketahui pada rangkaian TEM tersebut nilai keluaran modul termoelektrik tergantung dari parameter



Gambar 12. Pengaturan untuk pengujian



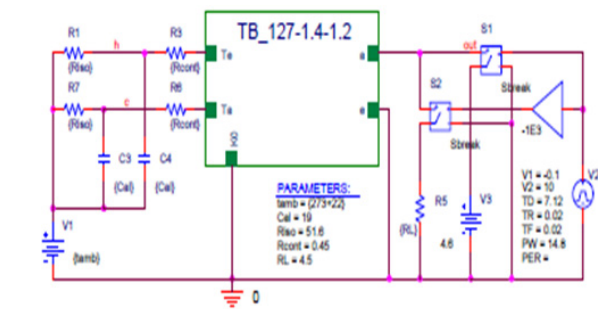
Gambar 13. Perilaku TEM bawah urutan powering dan loading pada port listrik. Data eksperimen ditunjukkan dalam garis abu-abu, hasil simulasi garis hitam. (a) tegangan pada terminal listrik. (b), (c), dan (d) - Suhu menyerap (T_a) dan memancarkan (T_e) sisi TEM, untuk open-hubung terminal listrik, dimuat oleh $2\ \Omega$ resistor, dan sarat dengan $4,5\ \Omega$ resistor masing-masing

yang digunakan untuk melihat seberapa besar daya yang dihasilkan, terutama adalah hambatan termal dari insulasi panas, kapasitas panas dari plat aluminium dan hambatan termal yang terjadi akibat adanya kontak dengan plat aluminium.

Berdasarkan analisis dari modul termoelektrik yang digunakan, kita bisa mengetahui bahwa semakin tinggi input energi panas yang masuk ke dalam sebuah modul termoelektrik maka akan semakin besar pula output tegangan listrik keluaran yang dihasilkan. Pada kasus pengujian prototipe kami, tegangan listrik keluaran sebesar 3.14 V didapat dari input berupa energi panas yang masuk ke sebuah saluran udara (*duct*) dengan suhu rata-rata sebesar 34°C .

Kemudian energi panas yang mengalir pada saluran udara berinteraksi dengan modul termoelektrik. Keluaran tegangan listrik ini terjadi karena adanya perbedaan suhu antara sisi panas dari modul termoelektrik dengan sisi dingin modul termoelektrik tersebut. Kolektor pada sisi panas modul termoelektrik menyimpan panas dengan suhu yang sudah diketahui yaitu 34°C , sedangkan pada sisi dingin modul termoelektrik yang berupa *heatsink* agar suhunya tetap dingin, maka diberi fan (kipas dc). Hasil output pada pengujian didapatkan tegangan sebesar 3.14 Volt.

Daya yang dihasilkan dapat dihitung dengan rumus $P = V^2/R$, dimana P adalah daya, tegangannya V , dan R adalah hambatan dalam pada termoelektrik tersebut sebesar $60\ \Omega$. Pada percobaan alat didapat daya sebesar 0.16 Watt. Dari percobaan yang dilakukan didapat suatu kesimpulan, bahwa besarnya ΔT tidak hanya mempengaruhi tegangan listrik yang dihasilkan tetapi juga mempengaruhi nilai



Gambar 14. Model PSPICE untuk mensimulasikan percobaan. Riso adalah resistensi termal dari isolasi termal, C_{al} - kapasitas termal dari pelat aluminium. R_{cont} - ketahanan termal dari kontak termal antara TEM dan plat

daya yang dihasilkan. Secara umum tegangan dan daya yang dihasilkan ini memang masih sangat kecil, namun jika panas pada suatu kondensor yang merupakan energi terbuang ini dimanfaatkan sebagai energi alternatif berbasis termoelektrik di masa depan, dapat menjadi prospek yang menjanjikan sebagai sumber energi alternatif.

V. KESIMPULAN

Termoelektrik merupakan suatu peralatan *solid-state* atau semikonduktor yang mampu mengubah suatu energi panas menjadi energi listrik dengan menerapkan kinerja dari “Efek Seebeck”. Dalam percobaan prototipe yang kami buat dapat dianalisis bahwa dengan ΔT rata-rata sebesar 34°C dapat menghasilkan energi listrik sebesar 3.14 Volt. Tegangan ini memang masih sangat kecil, namun jika jumlah panas yang terdapat pada kondensor sangat besar, panas tersebut dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif berbasis termoelektrik.

REFERENSI

- [1] I. Danusugondho, H. Hoesin, dan I. B. A. Putra, *Dasar-Dasar Teknik Tata Udara 2*, Jakarta, Indonesia: Depdikbud Dikmenjur, 1983.
- [2] Hukum I Termodinamika [Online]. Available: <http://mediaonlinefisika.blogspot.com/2010/12/b-hukum-i-termodinamika.html>.
- [3] F. Keith dan A. Priyono, *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*, ed. 3, Jakarta, Indonesia: Erlangga, 1986.
- [4] S. L. Soo, *Direct Energy Conversion*, London, UK: Prentice Hall, 1968.
- [5] HB Corporation, Thermoelectric Cooler TEC-12705 Performance Specifications [Online]. Available: www.alldatasheet.com
- [6] R. Wirawan, “Analisa penggunaan heat pipe pada thermoelectric generator,” Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, 2012.
- [7] S. Lineykin and S. Ben-Yaakov, “Modeling and analysis of thermoelectric modules,” Power Electronics Laboratory, Department of Electrical and Computer Engineering, Ben-Gurion University of the Negev.